

Capítulo VII

metafísica quântica: o princípio de incerteza como limite da passagem da essência à existência

Roberto Leon Ponczek

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

PONCZEK, RL. *Deus ou seja a natureza: Spinoza e os novos paradigmas da física* [online]. Salvador: EDUFBA, 2009. 352 p. ISBN 978-85-232-0608-6. Available from SciELO Books

<<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this chapter, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste capítulo, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de este capítulo, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

Parte III

SPINOZA E EINSTEIN E SUAS AFINIDADES
NEGATIVAS: A TEORIA QUÂNTICA

CAPÍTULO VII

METAFÍSICA QUÂNTICA: O PRINCÍPIO DE INCERTEZA COMO LIMITE DA PASSAGEM DA ESSÊNCIA À EXISTÊNCIA

Denominarei de afinidades negativas entre Einstein e Spinoza, as discordâncias comuns que tinham em relação a seus contemporâneos, ou seja, o que os une, por discordância, a outras interpretações da realidade. A Teoria Quântica (doravante designada por TQ), mais propriamente a interpretação ontologicamente contingente e antirrealista dada à física microscópica, pela chamada Escola de Copenhague, foi seguramente o alvo mais visado pelas críticas einsteinianas, será considerada uma dessas afinidades. Pretendo caracterizar que o físico adotou essa postura áspera e renitente em relação à TQ motivado principalmente pela metafísica de Spinoza, avessa às contingências. Esse tema específico será discutido, com maiores detalhes, a partir deste capítulo, e nos três capítulos que se seguem farei uma reflexão de cunho filosófico sobre a TQ, que é considerada, juntamente com a Teoria da Relatividade (TR), a mais importante teoria científica do séc. XX. Este capítulo será dedicado especificamente ao entendimento da TQ, sob um ponto de vista filosófico, em que serão reintroduzidas, trafegando na contramão do positivismo, as distinções

metafísicas entre essência e existência, propondo no formalismo quântico variáveis de essência e de existência, no sentido definido na *Ética* de Spinoza.

No próximo capítulo, retornarei com mais ênfase em busca por elementos metafísicos comuns ao projeto científico de Einstein e à ontologia de Spinoza, refletindo sobre outras “afinidades negativas”, como a não localidade causal ou holismo experimental, atribuídos à realidade física por alguns contemporâneos de Einstein, como N.Bohr. No capítulo VIII, será abordado o famoso paradoxo do gato de Schrödinger à luz de uma crítica realista de Einstein que tem supostamente a sua gênese no necessitarismo de Spinoza. Será adotada, pois, a máxima que reza que “os amigos costumam ter inimigos comuns”. Einstein foi um áspero crítico da indeterminação introduzida pela interpretação probabilística dada ao formalismo ondulatório da TQ. Como já foi dito antes, é sensato supor que Einstein a ela se opôs de uma forma análoga a que Spinoza se opusera a todos os sistemas metafísicos de sua época, que admitiam a contingência, seja da natureza, seja da liberdade da vontade humana, o chamado livre arbítrio. É nesse sentido que afirmarei que Spinoza e Einstein tinham em comum a negação da contingência ontológica, tanto na natureza como um todo, como na natureza humana tomada em separado.

Introdução ao princípio de incerteza

Neste capítulo, o princípio de incerteza ou indeterminação (p.i.) será apresentado através de exemplos didáticos e de forma metafórica, a fim de que possa ser facilmente assimilado por leitores não iniciados na TQ. O nível introdutório com que será abordado este princípio fundamental é compatível com a proposta de apresentar a Física em íntima conexão com as demais atividades do espírito humano. Serão dados também exemplos nos quais o princípio é aplicável macroscopicamente. Em seguida, discutirei a distinção clara que, ao longo da história da Filosofia, se faz entre essência e existência, pretendendo estabelecer na TQ a mesma distinção, através de uma interpretação metafísica da realidade quântica. Proporei grandezas que, respectivamente, melhor representem a essência e a existência de sistemas físicos. O p.i. será interpretado como um limite de resolução da passagem da essência à existência, sendo defendido o ponto de vista de que é um princípio epistemológico fundamental, inerente a todo processo de conhecimento

sensível, que impossibilita o conhecimento completo, não da essência, mas da existência, tornada em ato pelo observador.

A TQ, de um lado, com dualidades, complementaridades, probabilidades e a TR, de outro, com contrações espaciais, dilatações temporais, e curvaturas do espaço-tempo distorcem aquilo que aprendemos à custa de milênios de repetição de prosaicas experiências que se realizam à exaustão no cotidiano e a tudo que denominamos de senso comum. Por que então acreditar em coisas que chocam tanto os nossos sentidos? Segundo os empiristas, não são eles a matéria-prima do conhecimento? O ser humano, todos os seus sentidos, bem como tudo por eles experimentado encontra-se numa escala intermediária entre o mundo do muito pequeno e o do muito grande. Somos muito lentos, se comparados à luz, muito grandes, se comparados a um elétron, e muito pequenos, se comparados às estrelas. Pertencemos e experimentamos um mundo intermediário, quantificado pelo sistema métrico (kg, metro, segundo).

Até o final do séc. XIX, todos os grandes sistemas de pensamento foram construídos em estreita referência a este mundo particular, pois tudo o que dele se afasta não nos pode alimentar a razão imediatamente, via os sentidos. O sofista Protágoras afirmava de alto e bom tom que “*O homem é a medida de todas as coisas*”. E para um grego a medida era a justa proporção entre as coisas. Um segmento era harmoniosamente dividido quando suas partes se relacionavam com o todo. Na Música, também a harmonia era decorrente das justas proporções entre os intervalos musicais. Desta forma, o sistema métrico (kg, metro, segundo) tem nítida referência ao corpo humano, pois que este raramente tem mais de 2.0 m em qualquer das dimensões espaciais, raramente ultrapassa 100 kg de massa e a pulsação cardíaca tem período da ordem de 1 seg., delimitando a região espaço-temporal com a qual estamos em interação imediata. Para o conhecimento de outras regiões, situadas em distintas escalas métricas, a experiência deve ser mediada por instrumentos de medida que nem sempre podem ser considerados extensões imediatas dos sentidos, como erroneamente se supõe em geral nos meios científicos menos críticos. Segundo Bachelard, entre os sentidos e a realidade, é interposta uma complexa rede fenomenotécnica de instrumentos de medida.

Se habitássemos a escala atômica, bastaria que um simples raio de luz nos tocasse para fazer-nos vagar a esmo pelo espaço, e possivelmente a nossa consciência apreenderia o mundo de outra maneira: conviveríamos diariamente com incertezas e probabilidades. Segundo o princípio de incerteza de

Heisenberg, o raio Δr de uma esfera em cujo interior um objeto esteja confinado, multiplicado pela sua massa m e pela incerteza Δv da sua velocidade, é da ordem de grandeza da constante de Planck dividida por $2\pi = 6,6 \times 10^{-34} / 2\pi \text{ J.s} \sim 10^{-34}$. Isto se escreve: $m \Delta r \Delta v \sim 10^{-34}$. Portanto, quanto mais preciso é nosso conhecimento acerca da posição do objeto (quanto menor o raio Δr da esfera em que o objeto esteja confinado) também mais impreciso se torna o conhecimento acerca da velocidade do objeto (maior Δv). Reciprocamente, se soubermos com precisão a velocidade de um objeto ($\Delta v \rightarrow 0$, $\Delta r \rightarrow \infty$, uma vez que $\Delta r \sim h/m\Delta v$), o que significa que o conhecimento da velocidade leva ao desconhecimento da posição de um objeto.

Duas histórias rabínicas, passadas na Rússia czarista¹, podem ser consideradas como metáforas do princípio da incerteza. Na primeira delas, um velho rabino seguia, durante mais de 20 anos, o mesmo trajeto de sua casa à sinagoga, observado de longe por um miliciano cossaco que não morria de simpatia pelo judeu. Um dia, o cossaco resolveu implicar com o ancião, interpelando-o:

— Aonde vais velho?

— Não sei — responde-lhe o ancião.

— Pensas que me enganas. Sei que vais à sinagoga, e nesse caso prender-te-ei por me negares a prestar informações!

Já atrás das grades, o velho chama o cossaco:

— Antes de abordar-me, eu sabia para onde ia, porém, depois de sua interpelação, jamais poderia eu saber para onde me levaria. A prova de que falo a verdade é que, sem nada de errado ter feito, cá estou eu na prisão!

A história mostra, em forma metafórica, como um observador (o cossaco) afeta o objeto de seu conhecimento (o rabino), levando-o por caminhos desconhecidos.

Numa outra história, conta-se que em uma escola rabínica o *rabi* (mestre), ao pressentir a sua morte, chamou seus discípulos, revelando-lhes que deixara toda a sua sabedoria escrita num livro-testamento que só poderia ser aberto depois de sua morte. Alertou-lhes, no entanto, que ao tentar consultar o alfarrábio, se deparariam com uma grande dificuldade. Após o seu falecimento, os discípulos apressaram-se para abrir o livro, constando que todas as suas delicadas páginas de papel bíblia foram propositadamente lacradas e que para abri-lo seria, portanto, necessário danificá-las. Depararam-se assim com o seguinte dilema: manter intacto todo o conhecimento contido naquelas

páginas ou as corromper para poder conhecê-las em parte? A natureza do microcosmos é como este paradoxal livro que não se deixa conhecer impunemente. Permanece desconhecida enquanto contemplada, e apenas parcialmente conhecida quando observada.

Essas relações de incerteza caracterizam um limite para o conhecimento, e se tornam cada vez mais dramáticas à medida que a massa dos objetos diminui. Se tivéssemos hipoteticamente a massa de um elétron ($\sim 10^{-30}$ kg.) e supondo que estivéssemos enclausurados no interior do mais simples dos átomos, qual seja o do hidrogênio, o nosso minúsculo corpo estaria dentro de uma esfera de raio de 1 angstrom = 10^{-10} m. Pelo princípio de incerteza, isto acarretaria que a nossa velocidade ficaria indeterminada dentro de uma faixa $\Delta v \sim 10^{-34}/10^{-30} 10^{-10} = 10^6$ m/s, o que significa dizer que a nossa velocidade poderia ter qualquer valor entre zero e um milhão de metros/seg! Dizendo isto de outra maneira: se tivéssemos a massa de um elétron, alguém que nos confinasse dentro de um átomo de hidrogênio não poderia saber a nossa velocidade.

Se a constante de Planck não fosse tão pequena, experimentaríamos, no cotidiano, a limitação do conhecimento imposto pelo princípio da incerteza. De fato, se a constante de Planck fosse igual a 1, e se quiséssemos conhecer a posição de um objeto de 1 kg com 1 mm de precisão, necessitaríamos de luz para que o objeto pudesse ser observado². A luz possuiria segundo as relações de L. de Broglie³ uma quantidade de movimento $p = h/2\pi\lambda \sim 1/2\pi 5 \times 10^{-7} \sim 3 \times 10^5$ kg m/s, o que equivaleria a um impacto de uma massa de 1 kg a 300.000 m/s, ou seja, a uma velocidade de um milésimo a da luz! Se a constante de Planck fosse 1 unidade no sistema (kg, m, s) o simples fato de ver um objeto faria com que este fosse bombardeado, por bólidos de luz, vindos de todas as direções, o que tornaria a sua trajetória completamente imprevisível.

A constante de Planck tem a sua origem histórica no estudo feito por Max Planck sobre a relação entre a energia e as frequências de uma radiação eletromagnética, no interior de uma cavidade quente (radiação do corpo negro). Foi depois inserida por Bohr em seu modelo atômico, como sendo proporcional ao tamanho dos saltos quânticos que o elétron deveria dar, ao passar de um estado estacionário a outro de energia. Einstein também a introduziu como a constante de proporcionalidade entre energia e a frequência dos fótons, as partículas que compõem a radiação eletromagnética. Mas foi,

somente a partir das relações de incerteza de Heisenberg, que a constante de Planck tornou-se uma barreira natural ao conhecimento completo das variáveis de estado (existência) que impossibilita a previsibilidade de um sistema no sentido clássico (posição e velocidade). Ao localizarmos um corpo em uma pequena região do espaço, como no interior de um átomo, por exemplo, perdemos a sua trilha e só nos resta atribuir probabilidades à gama de valores da velocidade com que se nos escapa o corpo. Reciprocamente, se lhe tentarmos medir a velocidade, ele se desfaz, enquanto corpo localizado, se espalhando enquanto existência por extensas porções do espaço, e só nos resta apostar que esteja em algum lugar. A interpretação probabilística da TQ é assim uma consequência das relações de incerteza de Heisenberg, enquanto princípio de limitação epistemológica do conhecimento sensível.

Segundo o físico e teórico da comunicação francês, Abraham Moles, o p.i. teve de ser “engolido” por nossa cultura dominada desde o séc.XVII pelo racionalismo-mecanicista e pelo sonho laplaciano de controle e previsibilidade de todo o universo:

O Princípio da Incerteza (indeterminação) de Heisenberg nos faz dar um passo definitivo na afirmação de uma incerteza do mundo, na medida em que se quer observá-lo já que as variáveis descritivas de cada uma das partículas deste – a posição e a velocidade – encontram-se indissoluvelmente ligadas dentro da relação de indeterminação, se o conhecimento de uma aumenta, o da outra deve diminuir. Era o adeus ao mundo finito e estável cujas incertezas eram aquelas de nossas técnicas e eram redutíveis na medida do progresso destas técnicas. Foram precisos 40 anos aos espíritos mais sagazes do séc. XX para chegar a digerir e fazer a cultura digerir esta proposição (...). Em grande escala, desta vez, o mundo está incerto não por causa das incertezas do mundo das partículas elementares, mas sim por causa de nossas incapacidades de cercá-lo (...). Assim a título de uma ciência do preciso, este mergulho dentro do infinitamente pequeno – que é certamente uma das grandes conclusões intelectuais do séc. XX – não trouxe progressos. Foi dentro da procura por precisão que se encontrou a imprecisão, ela era um mal necessário e transformou-se em uma necessidade do mal antes de tornar-se uma condição epistemológica (...)⁴.

O princípio de incerteza macroscópico

Segundo ainda A. Moles, a relação de indeterminação não é algo privativo do mundo microscópico e podem-se dar vários exemplos onde ela ocorre no mundo de objetos macroscópicos que nos cercam. A fotografia, por exemplo,

que é a técnica de captação e impressão de um instante, é regida por um princípio de indeterminação que pode ser escrito da seguinte forma:

$$\textit{qualidade da imagem} \times \textit{instantâneo da cena} = \textit{constante}.$$

A relação significa que quanto maior a qualidade da imagem impressa, menos ela capta um instante. A qualidade da imagem é tanto maior quanto o diafragma permanecer aberto, mas nesse caso a cena retratada não é a de um instante, mas de uma superposição deles. A constante da relação acima depende da técnica fotográfica empregada. Outro exemplo significativo de relação de indeterminação entre grandezas de estado (conhecimento) em sistemas macroscópicos ocorre quando se quer medir simultaneamente a amplitude e a duração de um sinal eletrônico ou acústico, isso se escreve:

$$\Delta A \times \Delta t = h.$$

Novamente o experimentador se depara com uma limitação inerente ao processo de medida: quanto melhor ele determinar a intensidade de um pulso, menos saberá acerca de sua duração. Esta última relação é muito semelhante ao princípio de incerteza em sua forma temporal:

$$\Delta E \times \Delta t > h^5$$

Ambos os exemplos revelam que o processo de conhecimento se caracteriza como uma interação, em mão dupla, entre sujeito e objeto, que limita a escolha do primeiro a um particular aspecto do conhecimento do segundo. Se duas grandezas são necessárias e suficientes para determinar univocamente o estado do objeto, fatalmente o sujeito-observador terá que fazer uma opção acerca de qual das duas variáveis quer conhecer melhor. As relações de incerteza podem ser todas escritas na forma:

$$\Delta(\textit{grandezas})_1 \times \Delta(\textit{grandezas})_2 = h,$$

onde o símbolo Δ representa a dispersão com que se quer conhecer as grandezas de estado, e a constante h (mais exatamente $1/h$) está relacionada com a resolução de todo o processo de medida. Como somente o conhecimento simultâneo de ambas as grandezas determina a evolução do objeto no espaço-tempo, qualquer imprecisão leva ao indeterminismo.

Para O. Pessoa, é possível conciliar a TQ com a epistemologia kantiana, e em particular com a categoria da causalidade, pois, segundo von Weizsäcker

(citado por Pessoa), esta se caracteriza por um juízo condicional: “Se o estado de um sistema fechado for completamente conhecido num certo instante, poder-se-á, em princípio, calcular sempre o estado deste mesmo sistema em qualquer outro instante anterior ou posterior”. Portanto:

(...) a lei causal permanece verdadeira na mecânica quântica como na Física clássica. A diferença é que nesta última é possível determinar o estado de maneira completa, ao passo que na microfísica tal determinação é impossível⁶.

Desta forma, o p.i., que segundo o autor acima citado, é uma das três formas com que pode ser afirmado o princípio da complementaridade onda-corpúsculo, formulado por Bohr em 1928, não invalidaria a epistemologia kantiana, nem a categoria da causalidade, em particular. Ele tão-somente impossibilitaria o conhecimento simultâneo de todas as variáveis de estado de um sistema, o que não permitiria determinar a sua evolução de forma precisa. Assim na TQ manter-se-ia a causalidade, mas não o determinismo. A constante de Planck, que tem as dimensões de *posição x momentum* ou *energia x tempo = ação*, pode ser entendida como um *quantum* de ação, o que a caracteriza um limite de conhecimento, necessariamente decorrente de uma ação do sujeito sobre o objeto.

O indeterminismo no mundo microscópico é exacerbado pela conjunção de dois fatores: a massa do objeto (inércia) e a região do espaço a que o objeto está confinado e na qual o sujeito cognoscente (observador) terá que adentrar com seus aparelhos de medida, já que seus sentidos não o podem observar diretamente. Enquanto estivermos lidando com objetos pertencentes ao domínio (kg, metro, segundo), os apreendemos imediatamente pelos sentidos e estes induzem perturbações tão fracas, em nosso objeto, que podem para efeitos práticos ser desprezadas, diz-se então que o objeto existe independentemente do observador. Segundo a epistemologia kantiana, este então organiza o fenômeno através das categorias apriorísticas do conhecimento, onde o cenário é o espaço-tempo e as relações são causais. A indeterminação aumenta, no entanto, quando se quer conhecer partes cada vez menores do todo, fragmentando a matéria, reduzindo sua extensão até chegar aos domínios nos quais a constante de Planck (10^{-34}) se torna dramaticamente importante. Neste caso, a experiência não nos é dada mais imediatamente, mas sim mediadamente através de instrumentos que interagem fortemente com o objeto, mapeando o mundo microscópico no mundo (kg,

metro, segundo) onde habitamos. Porém, este mapa não é o território, pois o instrumental utilizado traz-nos aos sentidos um objeto *acrescido* e/ou modificado pela ação da medida que é tanto mais dramática quanto menor for o objeto, a região a que estiver confinado ou a duração de tempo em que é “capturado” o momento⁷. O laboratório está situado no mundo (kg, metro, seg.), mas não os objetos microscópicos do conhecimento. Temos assim o conhecimento do mapa e não do território, da foto e não do objeto.

Os sentidos são alimentados por ondas eletromagnéticas que estão na faixa visível de 4 mil a 7 mil angstrom e /ou sons na faixa dos 20 Hz a 20.000 Hz. O conhecimento empírico adentra-nos a mente por estes estreitos portões sensoriais. São nestas faixas que vemos os ponteiros de nossos medidores ou ouvimos os cliques dos detectores, e estes, por sua vez, serão os agentes finais que nos adentrarão a mente que organizará os fenômenos, em forma de leis, em um cenário espaço-temporal. Lembremo-nos, no entanto, que o elétron (10^{-30} kg) habita em uma região de 1 angstrom (10^{-10} m) de raio, domínio das incertezas da constante de Planck, o que torna as informações que provêm deste microcosmo sempre incompletas.

Acredito que de posse dessa pequena e simplificadora introdução ao princípio de incerteza, e suas consequências para a teoria do conhecimento, o leitor não especialista poderá acompanhar com mais facilidade as considerações que se seguem.

Essência e existência na Filosofia

Existe uma milenar polêmica filosófica acerca do que seria precedente: a essência ou a existência de um determinado objeto. Na verdade, a questão remonta aos tempos da Filosofia grega e já se encontrava no cerne da questão do *ser* de Parmênides (c. 544-450 a.C.) e do *vir a ser* (devir) de Heráclito de Éfeso (sécs. VI-V a.C.). Afinal o que *é*; é imutável, atemporal, não espacial como queria Parmênides ou, pelo contrário, o que *é* está em permanente mutação, movimento e conflito consigo mesmo, como queria Heráclito? Platão resolveu o conflito, acreditando em um mundo suprassensível, permanente e atemporal, o chamado mundo das ideias ou das essências do qual o mundo sensível (da existência) era mera cópia imperfeita e, portanto, mutável, tendo no primeiro um limite inatingível. Os atomistas tentaram conciliar o ser com o vir-a-ser inventando os átomos, elementos imutáveis

que se combinariam para criar o mundo das transformações que percebemos pelos sentidos. Aristóteles (384-322 a.C.) dividiu o cosmos em duas esferas: a sublunar, onde ocorriam as transitoriedades do devir, e a supralunar, domínio das essências imutáveis. Para o filósofo mouro, Ibn Ruchd ou Averrois (1126-1198), no entanto, não haveria distinção clara entre a essência e a existência, pois que ambas são frutos da emanação divina, para filósofo e médico árabe Avicena (980-1037) a existência é um agregado da essência e o ser independe de seus atributos. São Tomás de Aquino (1227-1274) combate ambos, percebendo a existência como uma causa eficiente que transcende a essência. Segundo Mora, para o franciscano inglês, Guilherme de Okham (1300-1349), enquanto a essência é o significado através de um nome, a existência seria o mesmo, mas através de um verbo ou ação. Spinoza caracteriza a distinção entre essência e existência, desta forma:

[“...] pertence à essência de uma coisa aquilo que, sendo dado, estabelece suficientemente a coisa e que, sendo suprimido, a destrói necessariamente e a essência é aquilo sem a qual a coisa não pode ser concebida e aquilo que não pode ser concebido sem a coisa”⁹⁸.

O homem tem assim uma série de atributos necessários a sua existência, tais como corporeidade, animação, vida, sensibilidade, animalidade, passionalidade, racionalidade. O conceito de homem não poderá ser concebido se qualquer um desses atributos constituintes de sua existência for suprimido, mas somente a racionalidade e a passionalidade lhe são exclusivas, isto é, não poderão ser concebidas sem o homem. Desta forma, somente esses dois atributos constituem-lhe a essência. Tanto para Spinoza como para seu contemporâneo Leibniz⁹⁹, toda essência tende à existência pelo *conatus*, isto é, pela potência e pela necessidade de existir. Portanto, a existência seria a essência em ato. A essência é, pois, imutável (atemporal), pois se assim não fosse não poderia determinar permanentemente algo a ser o que é.

Para Berkeley (1685-1753) e para os empiristas *esse est percipi* (ser é ser percebido). Se percebo ou se alguma vez percebi a Lua, ela existe, e caso contrário ela não existe. A existência é assim relativa ao sujeito (observador) e aos seus sentidos. Para Kant (1724-1804) a coisa em si (*das ding an sich*) pertence ao incognoscível mundo *numênico*, enquanto apenas o mundo *fenomênico* nos é dado a conhecer, ou melhor, conhecer é um processo no qual um sujeito apreende um objeto na sua forma manifesta de fenômeno, e a partir deste momento o entende aplicando-lhe categorias de entendimento

como a causalidade. Para B. Russell (1872-1970) e a escola positivista lógica, a essência é a definição lógica de um objeto, enquanto a existência é a condição de que um determinado elemento de um conjunto satisfaça às condições dadas. Assim x é a raiz de $f(x)$, se e somente se $f(x)=0$. No entanto, isto não garante que no conjunto dos reais exista algum x que satisfaça a essa condição e assim a essência de x não implica em sua existência. Segundo a definição anterior, existiriam centauros? Um centauro é por definição um ser com corpo de cavalo e cabeça de homem. No mundo real não existem centauros, mas no mundo da mitologia sim. Portanto, enquanto a essência é imutável, a existência pode variar entre os diversos conjuntos que podem (ou não) a conter. A essência assim precede a existência. Veremos mais adiante que a definição russelliana se aplica à TQ, embora nem todas as escolas filosóficas concordem com essa definição. Na filosofia existencialista, a essência é incognoscível e, portanto, não pode definir nem revelar a natureza do homem ou de qualquer outra coisa, por serem estes permanentes vir-a-ser. Desta forma, a essência não pode aparecer, uma vez que é o conjunto de atributos imutáveis que definem a coisa. Para Heidegger, “a essência do ser-aí” (*dasein*) consiste em sua existência. O homem é, ele próprio, o sujeito de seu ser que através de sua liberdade engendra um projeto de si próprio construindo assim o seu existir. A existência pois precede a essência, recriando-a a cada momento. O próprio tempo é pura existência, pois que não possui um ser em si. Em contrapartida, para os essencialistas, como Hegel (1770-1831), o mundo das essências tem primazia sobre o mundo existente sendo este, sim, uma ilusão. O que importa é o ser ideal que prescinde dos seres reais.

A essência e a existência na Teoria Quântica

Estaria a Ciência imune aos milenares conflitos entre existencialistas e essencialistas? Caberia na Ciência tal discussão? Haveria sentido de se falar em essência e existência na TQ? Em caso positivo, que grandezas poderiam melhor representar a essência e a existência de um ente físico? Traria esta secular distinção filosófica alguma contribuição para a Física? Ou esta questão seria irrelevante no âmbito científico?

Para o francês Auguste Comte (1798-1857), o criador do positivismo, estaríamos já no terceiro estágio da história do saber que designa as características globais da humanidade em seus períodos históricos básicos: o

teológico, o metafísico e o positivo. A característica essencial do estado positivo é ter chegado à Ciência, quando o espírito supera toda a especulação e transcendência, definindo-se pela verificação das leis que se originam tão somente na experiência. Comte, pois, suprime da Ciência quaisquer questões teológicas, míticas ou metafísicas. Afirmo, sem risco de erro, que a grande maioria de cientistas contemporâneos defende a posição comtiana e exorciza, na prática, as questões de âmbito metafísico ou religioso. Sendo este, a meu ver, exatamente o ponto fraco da Ciência contemporânea, o seu verdadeiro calcanhar de Aquiles. Tenho uma forte convicção de que certas questões científicas só poderão ser convenientemente esclarecidas se resgataremos as questões metafísicas, “regredindo”, sob o ponto de vista comtiano, aos primeiros estágios do saber. Creio também ser a TQ a que menos pode prescindir de discussões metafísicas, e por isso proponho a reconstrução de uma metafísica quântica na qual essência e existência são clara e distintamente identificáveis.

Como se depreende de algumas das definições dadas anteriormente, notadamente a de Spinoza: *a essência é um conjunto invariante de atributos de um sistema que o define necessária e suficientemente como um ser ainda não revelado como fenômeno ao sujeito observador* (lembrem-se do centauro). Este não poderá conhecê-lo, se não tirá-lo de seu estado ontológico e atemporal, através de uma medida-interação, cujo resultado final é uma descrição espaço-temporal na qual estão situados tanto os aparelhos de medida como nosso corpo material.

Proponho assim que a essência de um ente físico seja a forma como este se relaciona potencialmente com o restante do mundo (vizinhança) sendo, portanto, o operador Hamiltoniana do sistema $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\mathbf{p}, \mathbf{x})^{10}$. Esta forma atemporal contém todos os atributos do sistema, tais como simetrias, constantes e todas as potencialidades de movimento de um sistema ainda não observado. Se suprimido qualquer um desses atributos implicitamente contidos na hamiltoniana, o ente se desfaz em consonância com a definição spinoziana. No entanto, a Hamiltoniana é um observável e seus autoestados $|\psi_n\rangle$ são tais que:

$\mathbf{H}|\psi_n\rangle = E_n |\psi_n\rangle$, e representam os estados de existência possíveis em ato ao sistema, enquanto que os E_n representam o espectro de energia do sistema. E ψ , a somatória de todas as potencialidades de existência do sistema, se escreve:

$\psi = \sum a_n |\psi_n\rangle$, $n = 1, 2, 3, \dots$ que representa matematicamente todas as possibilidades de existência em *potentia* deste ente. Por exemplo, ao jogarmos um dado, enquanto estiver no ar, ele é potencialmente todas as faces ao mesmo tempo. Só depois de consumado o seu movimento, ele revelará a face que se atualizará como existência. Poder-se-ia escrever simbolicamente que o estado não revelado do dado é $\psi = 1/\sqrt{6}(|1\rangle + |2\rangle + |3\rangle + |4\rangle + |5\rangle + |6\rangle)$, onde $|1\rangle$ representa o estado de mundo no qual o dado cai com a face 1 voltada para cima. Como nada sabemos sobre o resultado, atribuímos a cada face a probabilidade de $1/6 = (1/\sqrt{6})^2$.

Nesta expressão, os coeficientes a_n são tais que $|a_n|^2$ representam a probabilidade de, numa única observação, o sistema estar no estado puro particular $|\psi_n\rangle$, autofunção do operador H^{11} . Desta forma, na TQ, um estado em potência do sistema $\psi = \sum a_n |\psi_n\rangle$, $n = 1, 2, 3, \dots$ poderá se atualizar contingentemente em qualquer um dos estados possíveis ψ_n , ou numa combinação finita deles, a depender de como o sistema é observado. Se todos a_n forem nulos, com exceção de um particular a_m , o sistema terá **colapsado (atualizado)** em um estado de conhecimento máximo do operador H em que a energia E_m do autoestado $|\psi_m\rangle$, é conhecida com precisão. Neste caso, porém, o observador nada saberá sobre o instante de tempo em que foi feita a medida, isto é, haverá uma imprecisão total na medida do tempo. Dito de outra forma, *um autoestado da hamiltoniana é um estado atemporal e qualquer medida feita em um intervalo de tempo finito implicará na mistura de autoestados $|\psi_m\rangle$ e na imprecisão da medida da energia¹¹.*

H designa, pois, a essência atemporal de um sistema no plano numênico ou pré-fenomenal, e $|\psi_n\rangle$, $n = 1, 2, 3, \dots$ a **totalidade de seus estados de existência em potência**. O sistema assim descrito é uma essência pura preexistente, pois ainda não percebida (existir é ser percebido, reza a máxima berkeleyana). No processo de conhecimento, que só pode ser realizado através de um ato de medida feito por um sujeito material e ativo, trocar-se-ão *quanta* de ação entre ambos, de sorte que haja uma conversão da essência em existência espaço-temporal. Esse ato de cognição resultará em um estado de existência em ato:

$\psi_{1m} = a_1 |\psi_1\rangle + a_2 |\psi_2\rangle + a_m |\psi_m\rangle$ com a_1, a_2, \dots, a_m diferentes de zero, e $a = a_{m+1} = 0$, ao qual se denomina de colapso ou redução da função de onda.

Princípio de incerteza como resolução da passagem da essência à existência

Para que o observador possa descrever um objeto existente no espaço-tempo, deve tirá-lo do plano ontológico, onde se encontrava, acrescentando-lhe a sua própria ação cognitiva. A função de onda $\Psi = \sum a_n |\Psi_n\rangle$ $n=1, 2, 3, \dots$ descreve genericamente um estado de existência em potência ainda não atualizado, enquanto o conjunto de coeficientes $\{a_n\}$ não for conhecido. Cada a_n pode variar potencialmente entre 0 e 1, e exatamente nesta liberdade ontológica reside a contingência quântica. Através da medida, os $\{a_n\}$ passarão a ser conhecidos, e neste conhecimento reside a passagem da essência livre dos sistemas quânticos à sua existência, o dito colapso ou redução da função de onda. A essência de um sistema quântico, como definição lógica, e a existência como um elemento de um conjunto que satisfaça as condições impostas pela definição, parecem então convir com a distinção proposta por B. Russell. Ao se escrever a equação $f(x) = 0$, esta não é uma identidade tautológica, pois $f(x)$ pode assumir qualquer valor de seu contradomínio, no entanto, para algum valor particular de $x = x_r$ que satisfaça a equação acima, **existirá** uma raiz de x_r de $f(x)$. A essência da raiz não garante a sua existência. De forma análoga, pode-se entender a existência de um ente quântico num estado $|\Psi_m\rangle$, quando um particular a_m satisfizer as condições:

$$a_n = 1, n = m$$

$$a_n = 0, n \neq m$$

É assim razoável propor uma metafísica quântica, enquanto uma Física dos atributos essenciais dos objetos quânticos, ou seja, a sua hamiltoniana e o conjunto de suas simetrias e constantes de movimento. Para que um sujeito-observador obtenha uma descrição existencial em ato no espaço-tempo, com uma precisão $(\delta x, \delta t)$, retira-o do plano metafísico $H(P, X)$ dos atributos essenciais, introduzindo-lhe uma imprecisão $(\delta P, \delta E)$ valendo, entre essas grandezas, as relações de Heisenberg:

$$\delta p \delta x \sim h$$

$$\delta E \delta t \sim h$$

A primeira das relações é de fácil interpretação, e vastamente difundida nos livros didáticos: se quiser conhecer a posição de um corpo com precisão δx , o observador-sujeito terá de observá-lo com um agente que tenha essa ordem de comprimento de onda, isto é, $\lambda \sim \delta x$, perturbando seu momentum de $\delta p \sim h/\lambda = h/\delta x$.

A segunda relação pode ser assim interpretada: se desejar observar seu objeto num determinado instante t com precisão δt , de sorte que o instantâneo de seu objeto situe-se entre $t - \delta t$ e $t + \delta t$, o observador terá que emitir um quantum de ação de energia $E = h\nu$ onde $\nu \sim 1/\delta t$, perturbando seu objeto com a energia $\delta E \sim h/\delta t$. Resultando que os autoestados da hamiltoniana, cujos autovalores estiverem nesta faixa, serão superpostos. Assim, através de uma observação que dure um tempo finito, o sujeito não poderá saber com precisão a energia de seu objeto e, por outro lado, para que este permaneça num autoestado de energia pura E , a medição deverá durar uma infinidade de tempo. Ora, uma observação que dura uma infinidade de tempo não é mais observação, mas sim uma **contemplação**. Enquanto a existência é assim consequência da observação, a essência o é de uma contemplação atemporal. Assim, um autoestado da hamiltoniana não pode ser observado, mas contemplado, o que confere à hamiltoniana a condição de essência descritiva do objeto. A constante h é assim um limite de resolução do colapso da essência à existência em ato, via medida.

Quando o observador-sujeito se volta para a existência, que evolui num devir causal espaço-temporal (x, t) , permitindo ao observador saber com certeza se o objeto passou por algum obstáculo, orifício ou colidiu com um alvo que deliberadamente interpôs no espaço¹², revelar-se-á o aspecto corpuscular do objeto. Quando o observador não sabe se o corpo passou por um orifício ou colidiu com algum alvo de dimensões δy (o que ocorrerá quando $\lambda \sim \delta y$ ou $h \sim p\delta y$), o corpo será difratado pelo obstáculo, produzindo-se uma franja de interferência num anteparo próximo. Isto se deve ao fato de que, quando o comprimento de onda é da ordem das dimensões do orifício, já não se pode afirmar com certeza por qual ponto do orifício o corpo o atravessará. Assim, pelo principio de Huygens, cada ponto do orifício será uma nova fonte de onda, produzindo-se uma superposição de estados possíveis tendo como efeito uma franja de difração em um anteparo próximo (ver **Figura VII-1, a e b**)

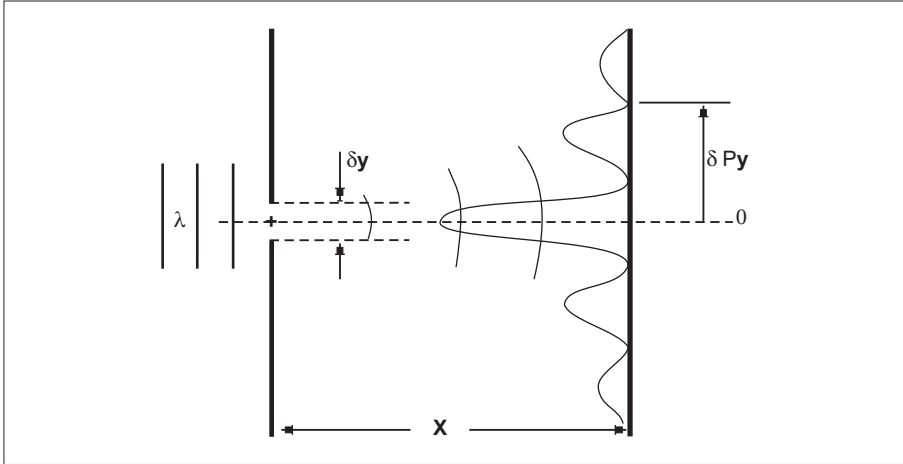


Figura VII -1a Quando um objeto passa por um orifício de diâmetro da ordem de seu comprimento de onda λ , o observador não poderá saber ao certo por onde passou o corpo. Esse desconhecimento fará com que o corpo se manifeste como onda.

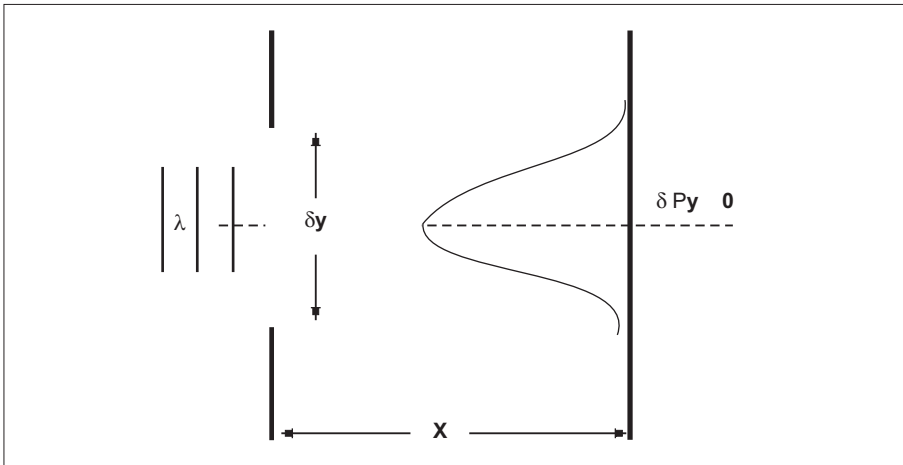


Figura VII -1b Quando um orifício é muito maior que λ , o observador poderá saber com certeza por onde o corpo o atravessou. Esse conhecimento faz com que o corpo se manifeste como uma partícula, tal qual uma bola que entra no gol.

No mundo cotidiano em que vivemos é também possível observar comportamentos tanto ondulatórios como corpusculares das ondas sonoras ou de luz visível. Quando um carro com som muito alto passa por nós com suas janelas entreabertas, ouve-se quase que exclusivamente os sons agudos. Isto se deve ao fato de que o comprimento de onda de um som agudo ($f \sim 15.000$ a

20.000 Hz) é da ordem de centímetros escapulindo pelas janelas como se fossem partículas. Já o som grave ($f \sim 50$ a 200 Hz) é da ordem de metros, sendo, portanto refletido para dentro do carro. Sons com frequências da ordem de 300 Hz poderão ser difratados pelos espaços entreabertos do carro (fendas).

No caso de uma fenda grande, como um carro atravessando um túnel, uma bola entrando no gol ou uma pedra arremessada por uma janela entreaberta, não teremos dúvidas de que o objeto atravessou o orifício passando por um ponto interno deste, e o preço epistemológico a pagar por essa certeza é apagar-lhe os atributos ondulatórios. Diz-se no jargão quântico que o conhecimento *which way* (por qual caminho passou o objeto) apaga o padrão ondulatório, fenômeno conhecido também por *quantum eraser* (apagador das propriedades ondulatórias quânticas).

Isto é o que geralmente ocorre no mundo macroscópico no qual vivemos, pois os comprimentos de onda associados a corpos macroscópicos são muito pequenos, se comparados aos obstáculos ou fendas, o que nos permite afirmar com certeza se vamos ou não atravessar uma porta aberta. O não conhecimento da trajetória (*which way*) faz aparecer o padrão ondulatório. Imagine o leitor como seria complicado viver num mundo onde a constante de Planck fosse muito grande, simplesmente não poderíamos sequer saber se passamos, ou não, por uma porta!

Ao diminuirmos progressivamente o orifício até que se torne comparável ao comprimento de onda associada ao corpo¹³, já não teremos certeza se o objeto atravessará o orifício. Assim policiado pelo observador (a metáfora do rabino e do cossaco é bem ilustrativa), o objeto deixa, segundo o p.i., um rastro de possibilidades de existir em posições do espaço transversais ao movimento¹⁴, onde a sua função de onda ψ é diferente de zero, criando-se uma franja de interferência. O arranjo então induz um fenômeno ondulatório em um objeto que antes estava imerso em seu espaço ontológico, que lhe conferia atributos tanto ondulatórios quanto corpusculares, e o sistema observado atualiza-se, de forma distinta, através de uma descrição que privilegia os atributos ondulatórios. O observador escolhe qual das potencialidades do sistema atualizar-se-á, implicando as escolhas em arranjos experimentais distintos (dado um objeto com determinado comprimento de onda, orifícios ou obstáculos muito maiores atualizarão os atributos corpusculares do objeto, e obstáculos suficientemente pequenos farão que ele se comporte como uma onda). *O padrão ondulatório é assim consequência*

do desconhecimento da trajetória precisa percorrida por um objeto e da conseqüente superposição coerente de todos os pontos onde o corpo pode estar, considerados como fontes de onda. Numa experiência com dupla fenda, quando o comprimento de onda associado ao corpúsculo for da ordem da separação das fendas, toda vez em que visarmos saber por qual das duas fendas o corpo passou (*which way*), apagaremos o padrão de interferência em um anteparo próximo. Segundo o matemático Von Neumann, qualquer teoria que restabeleça o determinismo será incapaz de prever o padrão de interferência.

Para von Weizsäcker, a vontade do sujeito-observador é relevante na TQ:

Uma novidade introduzida por von Weizsäcker é o papel da vontade na epistemologia quântica. O sujeito pode escolher se vai observar um aspecto ondulatório ou corpuscular, então, nesse sentido, sua vontade tem um papel na determinação do fenômeno¹⁵.

No capítulo IX, voltarei a refletir sobre a relevância da vontade humana sobre a descrição da realidade quântica.

A crítica de Einstein à complementaridade, ao princípio de incerteza e à contingência da natureza do microcosmo, resultante da interpretação de Copenhague, se deve à essência do conhecimento, quando este é atribuído a um sujeito cognoscente ontologicamente centralizado. Como então poderá a intencionalidade do sujeito dirigida ao conhecimento (ou não) da trajetória (*which way*) de um corpúsculo fazê-lo aparecer fenomenologicamente distinto, ainda mais que esta intencionalidade já se instalou antes da observação, pela própria montagem da instrumentação de medida? A questão essencial é assim entender que o desconhecimento da trajetória faz com que todos os pontos do espaço pelos quais um corpo pode ter passado comportem-se como fontes superpostas dos padrões de interferência, conferindo-lhe um atributo ondulatório, e vice-versa, o seu conhecimento faz com que este padrão desapareça. Mas nesse caso, não será atribuir ao sujeito-observador o privilégio de fazer criar a realidade física de acordo com sua vontade? Não seria melhor entender que os padrões de interferência surjam ou desapareçam por qualidades ocultas inerentes ao objeto físico? Terão os objetos físicos, já embutidos em si, graus de liberdade ocultas que determinarão como serão observados? Responder sim às três últimas questões é assumir uma postura einsteiniana — e por tabela — spinoziana em prol da ocultação das causas.

Estas são as questões nevrálgicas a serem discutidas com cuidado não só nas salas de aula nas quais se ensina a TQ, mas também em grupos de discussão

de pessoas leigas, interessadas na filosofia dessa teoria. É necessário transmitir também a ideia de que um objeto não observado ($\delta E = 0$ ou no caso de uma partícula livre, $\delta p = 0$), e, portanto, não forçado a atravessar nossos arranjos experimentais, ficará *ad eternum* pairando como essência contemplada, ainda não revelada ao sujeito-observador, no plano ontológico de sua hamiltoniana, e de seus atributos atemporais, tais como autoestados, simetrias e constantes de movimento. Nesse plano numênico, entretanto, nenhuma descrição fenomenológica poderá ser feita. Como foi proposto, o princípio da incerteza é interpretado como limite de resolução da passagem da essência à existência. Assim, a incerteza quântica, quando restrita ao plano gnosiológico, não é contraditória à metafísica spinoziana, pois que nesta a contingência vige apenas na proporção do desconhecimento humano, e este se deve à sua finitude. No próximo capítulo seguirei refletindo sobre essas questões.